

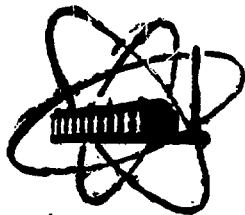
We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche

7304

У

SL 80 01290

ФЭИ-913



**ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

*Ю. И. КОЛЕВАТОВ, Л. А. ГРЫКОВ*

**РАДИОНУКЛИДНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ  
НА ОСНОВЕ КАЛИФОРНИЯ-252**

**Обнинск — 1979**

ФЭИ - 913

ФИЗИКО - ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Ю.И.Колыватов, Л.А.Трыков

РАДИОНУКЛИДНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ КАЛИФОРНИЯ-252

ОБНИНСК - 1979

## АННОТАЦИЯ

В работе проведены исследования характеристик радионуклидных нейтронных источников на основе калифорния - 252 активностью от  $10^6$  до  $10^9$  н/сек. Приведены энергетические распределения нейтронов и гамма - излучения. Полученные результаты сравниваются с данными других авторов. Для области энергии от 3 до 15 МэВ параметр жесткости спектра нейтронов равен  $1,40 \pm 0,02$  МэВ.

Благодаря простоте конструкции, радионуклидные источники нейтронов с  $\alpha$ -конверсией нашли широкое применение в практике физического эксперимента для калибровки спектров и в разнообразных прикладных задачах (активационный метод, нейтронная дефектоскопия, контроль технологических процессов и т.д.).

За последние годы в связи с развитием реакторной техники стали доступны такие элементы, как  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{252}\text{Cf}$  и т.д. У многих изотопов трансурановых элементов ядра подвержены спонтанному делению с высоким выходом нейтронов на один акт деления. Вследствие этого некоторые из изотопов можно использовать для приготовления радионуклидных спонтанных источников нейтронов.

Особенно перспективным является источник нейтронов на основе калифорния - 252. Из всех используемых на практике источников он обладает максимальной удельной активностью ( $\sim 10^{12}$  н/сек на грамм вещества) и малым количеством сопутствующего гамма-излучения (в идеальном случае не более трёх гамма-квантов на один испущенный нейтрон). Спектр нейтронов спонтанного деления этого источника представляется весьма удобным для проведения различных исследований методического, калибровочного и константного характера. Основным недостатком рассматриваемого источника является его сравнительно малый период полураспада (2,6 года).

Особенно сильно возрос интерес к этому источнику в связи с программой исследований, связанной с проверкой ядерно-физических констант в интегральных экспериментах. При использовании этого источника оказалось возможным проводить экспериментальные исследования в сферической геометрии. Причём из-за малых размеров источника исключается возмущение исследуемой среды, а благодаря его большой интенсивности (до  $\sim 10^{10}$  н/сек), можно проводить измерения с шарами, которые ослабляют поток излучения вплоть до пяти порядков.

Следует, однако, отметить, что характеристиками радионуклидных спонтанных источников нейтронов ещё недостаточно хорошо изучены. Выход, энергетические распределения нейтронов и сопутствующего гамма-излу-

чения зависят от чистоты исходных материалов, способа их приготовления, размеров и материала упаковки источников.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование характеристик конкретных радионуклидных источников нейтронов  $^{252}\text{Cf}$ , изготавливаемых промышленностью и используемых в практике физического эксперимента. Исследовались спектры нейтронов и гамма - квантов, выходящих из источников, и определялась их абсолютная активность.

Экспериментальная установка состояла из источника, детектора и защитного конуса ( для измерения фона ). Конус был изготовлен из полиэтилена для измерения фона нейтронов и из свинца для измерения фона гамма - излучения.

Исследовались характеристики следующих радионуклидных источников  $^{252}\text{Cf}$  :

№ 1 - источник в виде иглы диаметром 1,7 мм и высотой 36 мм активностью по паспорту на время измерений  $1,7 \cdot 10^6$  н/сек (точность 10% ),

№ 2 - источник упакован в ампулу из стали диаметром 8 мм и высотой 40 мм активностью по паспорту на время измерений  $4,4 \cdot 10^6$  н/сек (точность не хуже 5% ),

№ 3 - источник упакован в двойную ампулу из нержавеющей стали ( диаметр 10 мм, высота 8 мм ), а затем в ампулу из меди диаметром 15 мм и высотой 14 мм активностью по паспорту на время измерений  $5,5 \cdot 10^8$  н/сек (точность 10% ),

№ 4 - источник, состоящий из четырех отдельных источников в ампулах из нержавеющей стали, упакован в ампулу из стали диаметром 20 мм и высотой 30 мм, активность по паспорту на время измерений  $1,0 \cdot 10^9$  н/сек (точность 10% ),

№ 5 - источник "иголка" №1 помещён в цилиндр из стали диаметром 15 мм и высотой 25 мм для проверки влияния конструктивных элементов источника на форму спектра нейтронов.

Источники № 1 и № 3 изготовлены в СССР, источник № 4 изготовлен в Англии фирмой "Амершем".

В качестве детектора использовался однокристалльный сцинтилляционный спектрометр нейтронов с кристаллами стибьена ( размеры 5 x 7, 10 x 10, 30 x 10, 30 x 30 мм ) и кристаллом ПТФ размером 19 x 10 мм.

При измерении спектров гамма - излучения использовался кристалл стльбена размером 40 x 40 мм.

Все измерения проводились  $n$  - кратным повторением набора амплитудных распределений, причём  $n$  варьировалось от 3 до 11. Преобразование амплитудных распределений в энергетические распределения нейтронов и гамма-квантов проводились по методикам, подробно описанным в работе (1).

Результаты исследований приведены на рис. 1 + 3 и в таблицах 2 и 3. Из данных, представленных на рис. 1, видно, что форма энергетических распределений нейтронов для  $E > 3$  МэВ одинакова для всех изученных источников в пределах относительной погрешности, которая не превышает 10 % для области энергий от 3 до 15 МэВ. При  $E < 3$  МэВ наблюдается большое различие в форме спектров, а именно: спектры нейтронов для источников № 2, 3, 4 несколько мягче, чем для источника № 1. Это различие ( $\sim 10 + 15$  %) можно объяснить наличием ампул из стали и меди, на ядрах которых происходит упругое и неупругое рассеяние нейтронов.

Для проверки этого предположения был проделан следующий тест. Источник № 1 "иголка" был помещён в цилиндр из стали с внешним диаметром 15 мм и высотой 25 мм и внутренним отверстием диаметром 2 мм. Полученное энергетическое распределение такого источника также представлено на рис. 1 - пунктирная линия на спектре источника № 1 (для наглядности спектры нормированы не по абсолютному значению, а по форме в области энергии  $3 < E < 12$  МэВ, где они совпадают с погрешностью не хуже 5 %). Различие формы спектров нейтронов источника № 1 и имитатора наблюдается как раз только в области энергии ниже 3 МэВ и составляет  $\sim 10 + 15$  %.

Нерегулярности, наблюдаемые в спектрах нейтронов для  $E < 2,5$  МэВ превышают вычисленную погрешность спектров для данной области энергии примерно в 1,5 раза, но каких-либо разумных объяснений этого явления авторы привести затрудняются. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы убедиться в полной достоверности этих результатов. Можно только отметить, что в работе (2) спектр нейтронов калифорнийского источника измерился методом времени пролёта и в спектре для  $E < 3$  МэВ также обнаружены незначительные нерегулярности.

Форма спектров нейтронов исследованных источников хорошо описывается зависимостью вида

$$\varphi(E) = \text{Const} \cdot \sqrt{E} \cdot e^{-\frac{E}{T}},$$

где параметр жёсткости  $T = 1,40 \pm 0,02$  МэВ при  $E > 3$  МэВ для спектров всех источников и при  $E > 0,5$  МэВ для спектра источника М1 "иголка". При  $E < 3$  МэВ для спектров источников № 2,3 и 4 наблюдается некоторое отклонение от этой зависимости, связанное с описанными выше процессами.

Для наглядного представления экспериментально полученные функции  $\varphi(E)$  изображены в виде функций  $\varphi'(E) = \ln \frac{\varphi(E)}{\sqrt{E}}$  на рис. 2.

Для сравнения в таблице I собраны некоторые значения параметра жёсткости спектра нейтронов калифорния - 252, полученные из данных последних работ различных авторов, в которых использовались разнообразные измерительные методики.

Таблица I.  
Результаты определения параметра жёсткости  $T$  для  $^{252}\text{Cf}$ .

Интервал энергии нейтронов, МэВ	Значение $T$ , МэВ	Методика измерений	Литература
0,4 - 6	$1,48 \pm 0,03$ $1,436 \pm 0,016$	Время пролёта Пропорциональный N - счётчик	(6)
-	1,39	Марганцевая ванна	(5)
1,5 - 7	$1,42 \pm 0,015$	$^3\text{He}$ - счётчик	(7)
2 - 14	$1,42 \pm 0,03$	Сцинтилляционный спектрометр	(8)
0,5 - 13	$1,403 \pm 0,015$	Время пролёта	(4)
0,5 - 15	$1,40 \pm 0,02$	Сцинтилляц. спектрометр	Наст. раб.



В таблице 2 приведены результаты вычисленных из энергетических распределений активностей исследованных источников по нейтронному излучению по сравнению с паспортными данными, пересчитанными на дату проведения измерений.

Таблица 2.  
Активность источников  $^{252}\text{Cf}$  по нейтронному излучению.

№ источника по тексту	Измеренная активность, нейтрон/сек	Активность по паспорту, нейтрон/сек
1	$( 1,5 \pm 0,1 ) \cdot 10^6$	$( 1,7 \pm 0,17 ) \cdot 10^6$
2	$( 4,2 \pm 0,3 ) \cdot 10^6$	$( 4,4 \pm 0,2 ) \cdot 10^6$
3	$( 4,8 \pm 0,4 ) \cdot 10^8$	$( 5,5 \pm 0,55 ) \cdot 10^8$
4	$( 9,5 \pm 0,8 ) \cdot 10^8$	$( 1,0 \pm 0,1 ) \cdot 10^9$

На рис. 3 иллюстрируются измеренные спектры гамма-излучения источников № 1, 3 и 4. Если спектры гамма-излучения источников № 3 и 4 весьма близки по форме и абсолютному значению, то этого нельзя сказать о спектре источника № 1, хотя средняя энергия спектров всех источников практически одинакова и равна  $\bar{E} \approx 1,1$  МэВ. Различие в спектрах, по всей видимости, связано с технологией очистки вещества калифорния-252 от других радиоактивных нуклидов. На рис. 3 для сопоставления приведен спектр мгновенного гамма-излучения, возникающего при делении ядер  $^{235}\text{U}$  (3). Все спектры гамма-излучения калифорниевых источников при  $E > 2$  МэВ по форме неплохо совпадают с данными для урана. В работе (9) также проведено сравнение формы спектров гамма-излучения  $^{252}\text{Cf}$  и  $^{235}\text{U}$ , которое указывает на удовлетворительное согласие.

В таблице 3 приведены значения выхода гамма-излучения для исследуемых в настоящей работе калифорниевых источников (выход гамма-излучения нормирован на один нейтрон источника). Для сравнения в эту таблицу помещены также данные, вычисленные из работ других авторов, исходя из выхода 3,78 и 2,44 нейтронов на одно деление для

калифорния - 252 и урана - 235 соответственно.

Таблица 3.

Выход  $N_{\gamma}$ , полная энергия  $E_{\gamma}$  полн. и средняя энергия спектра  $\bar{E}_{\gamma}$  гамма - излучения радионуклидного нейтронного источника  $^{252}\text{Cf}$ .

№ источника по тексту или литература	Интервал энергии $\Delta E_{\gamma}$ , МаВ	$N_{\gamma}$ $\frac{\text{квант}}{\text{нейтрон}}$	$E_{\gamma \text{ полн.}}$ $\frac{\text{МаВ}}{\text{нейтрон}}$	$\bar{E}_{\gamma}$ , МаВ
$\text{Cf}$ № 1	0,4 - 9	$5,4 \pm 2,3$	$17,0 \pm 2,6$	1,1
$\text{Cf}$ № 3	0,4 - 9	$4,0 \pm 0,6$	$4,42 \pm 0,66$	1,1
$\text{Cf}$ № 4	0,4 - 5	$2,5 \pm 0,4$	$3,2 \pm 0,5$	1,2
$\text{Cf}$ (9)	0,1	$3,07 \pm 0,26$	-	-
$\text{Cf}$ (10)	-	2,72	2,17	0,8
$^{235}\text{U}$ (3)	0,3 - 10	$3,03 \pm 0,33$	$2,95 \pm 0,33$	0,97

Из анализа результатов, полученных в настоящей работе, и данных работ других авторов можно сделать следующие выводы:

1. Для большинства исследований величина  $T$ , характеризующая форму спектра нейтронов источника  $^{252}\text{Cf}$ , варьируется в пределах от 1,39 до 1,42 МаВ.

2. При изменении активности источника на три порядка и соответствующем увеличении количества конструкционного материала форма спектра нейтронов изменяется не более чем на 10 - 15 % в области энергии  $E < 3$  МаВ.

3. Абсолютный выход и спектр гамма - излучения источника на основе  $^{252}\text{Cf}$  зависит от технологии его изготовления. Выход гамма - квантов для исследованных источников, нормированный на один источник нейтрон, колеблется от 3 до 15 штук.

В заключение хочется выразить глубокую благодарность  
г. В. С. за помощь при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА.

- (1) Кухтевич В.И., Трыков О.А., Трыков Л.А. Однокристалльный спинтилляционный спектрометр, Атомиздат, Москва, 1971.
- (2) Аверченков В.Я., Нефедов Ю.Я., Хилков Ю.В. Тонкая структура в спектре нейтронов спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ , Материалы 2-ой Всесоюзной конференции по нейтронной физике, Нейтронная физика, часть 4, Обнинск, 1974, стр. 143-154.
- (3) Майеншейн Ф., Пилл Р., Зобел В., Лав Т. Гамма - лучи, связанные с делением, Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии, доклад 670, США, Нейтронная физика, т. 2, М., Атомиздат, 1959, стр. 297-308.
- (4) Green L., Mitchell J.A. and Steep M.M. The Californium - 252 Fission Neutron spectrum from 0,5 to 13 MeV, Nuclear Science and Engineering, 50, p. 257 - 272, 1973.
- (5) Green L., Nucl. Sci. and Engng, 37, 232, 1969..
- (6) Sanjatnin Ju. e.a. Nuclear Data for Reactors, Helsinki, IAEA, 1970, v. II, p.183.
- (7) Werle H., Bluhm H. Prompt Fission Neutron Spectra, IAEA, Vienna, 1972, p. 65.
- (8) Спектры мгновенных нейтронов спонтанного деления  $^{252}\text{Cf}$ ,  $^{244}\text{Cm}$  и  $^{240}\text{Pu}$ . - " Атомная энергия ", 1974, т. 36, вып. 4, стр. 282 ( Авт.: Александрова З.А., Большов В.И., Кузнецов В.Ф., Самарин Г.Н., Тараско М.З. ).
- (9) Skarvag K., Nucl. Phys., 153, 82, 1970.
- (10) Краут А. Достижения физики деления ядер. - В кн.: Физика деления ядер, Пер. с англ., Госатомиздат, 1963.

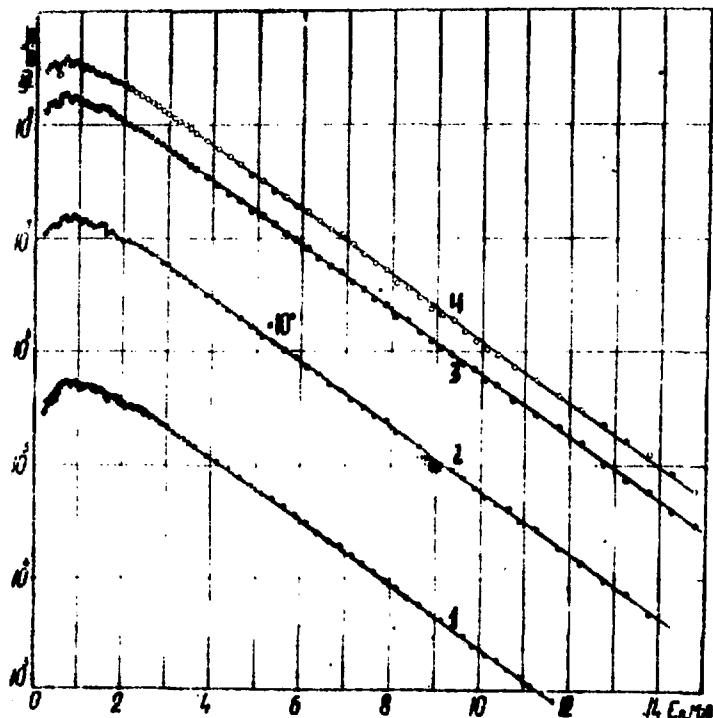


Рис. I. Энергетические распределения нейтронов источников на основе калифорния - 252:

- I - спектр источника № I " иголка ",
- - - спектр этого же источника, помещённого в стальной цилиндр диаметром 15 мм и высотой 25 мм ( источник № 5 ),
- 2 - спектр источника № 2,
- 3 - спектр источника № 3,
- 4 - спектр источника № 4.

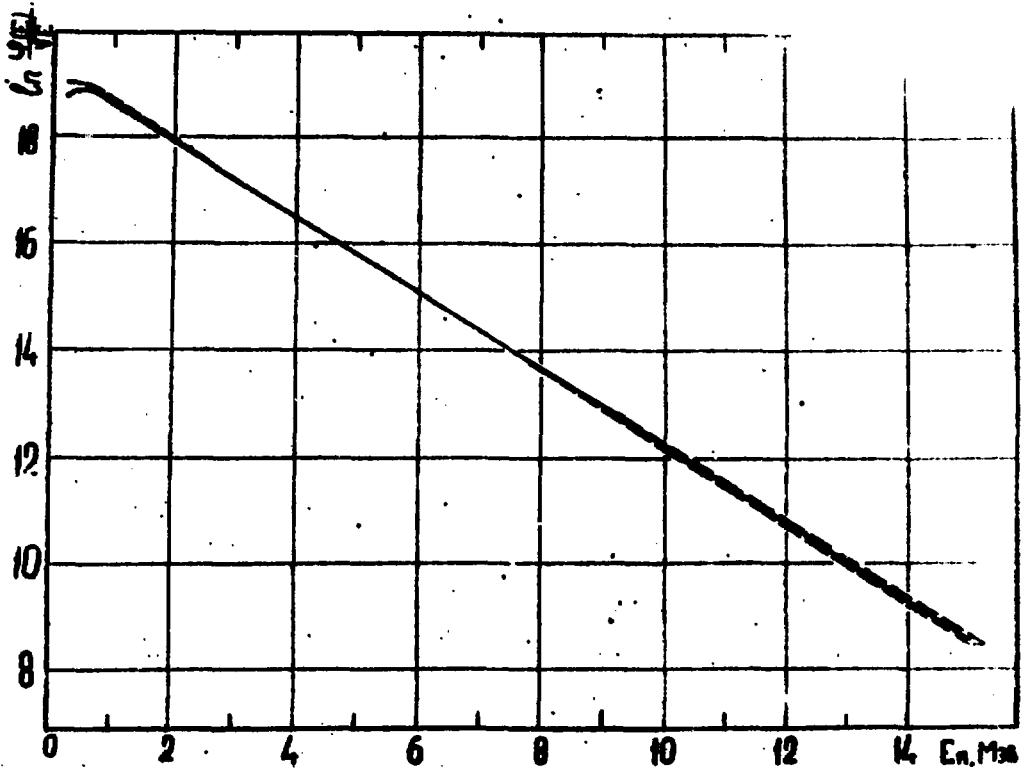


Рис. 2. Функция  $\varphi'(E) = \ln \frac{L(E)}{\sqrt{E}}$ .

характеризующая параметр жёсткости  $T$  для спектров исследованных источников нейтронов на основе калифорния - 252.

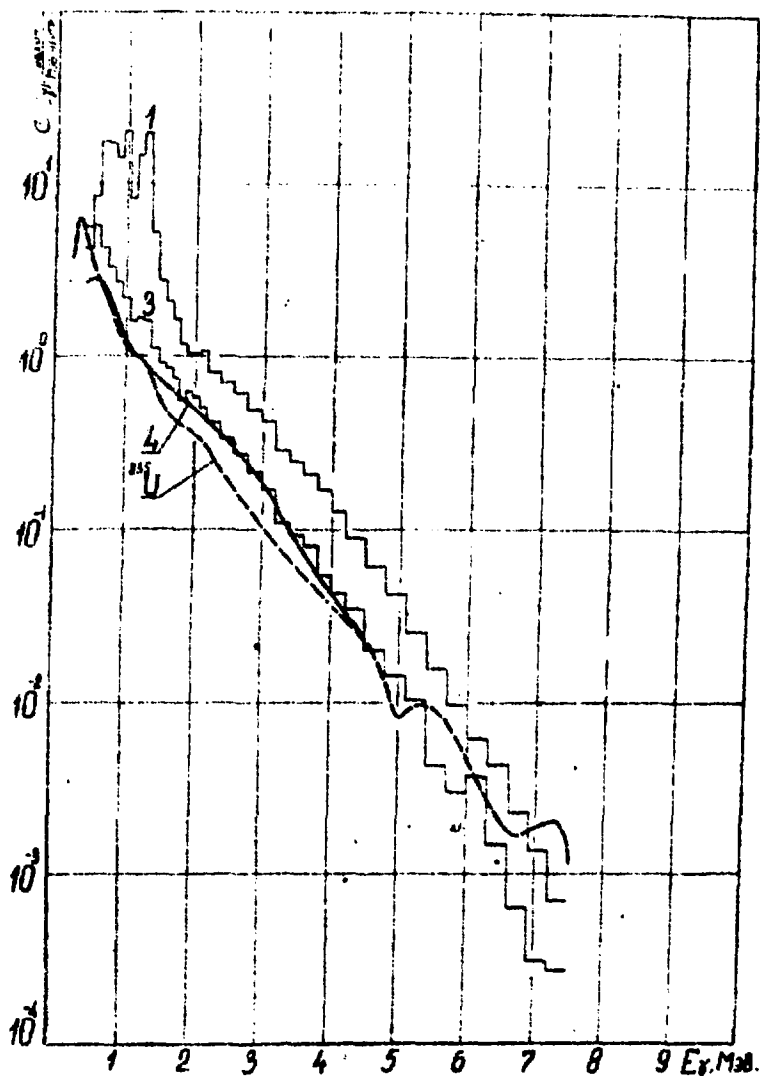


Рис. 3. Энергетические распределения гамма-излучения источников на основе калифорния - 252:

1 - источник № 1,                      3 - источник № 3,  
 4 - источник № 4,                      - - - спектр мгновенного гамма -  
 излучения при делении  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами (2).

Подписано в печать 6/II-1979 г. Т-02940    Формат 60x90 I/16  
 Облетная печать Усл.п.л. 0,8 Уч.-изд.л. 0,5 Тираж 76 экз.  
 Заказ № 212    Цена 5 коп.    Индекс 3624

Отпечатано в Физико-энергетическом институте

**5 коп.**

**Индекс 3624**